

黃砂現象時の 大氣汚染物質 動態에 關한 研究

Dynamics of Air Pollutants during the Yellow Sand Phenomena

李敏熙 · 黃奎浩 · 金恩植¹⁾
平井英二²⁾ · 丁子哲治²⁾ · 宮崎元一³⁾

(사단법인) 환경동우회

¹⁾국립환경연구원 환경보건부

²⁾일본 가나자와대학 공학부 · ³⁾약학부

(원고접수: 1990. 9. 26)

Min-Hee Lee, Gyou-Ho Hwang, Eun Shik Kim¹⁾,
Eiji Hirai²⁾, Tetsuji Chohji²⁾, Motoichi Miyazaki³⁾

Fellow Member's Association, Ministry of Environment, Korea

¹⁾Department of Environmental Health Research, National Institute of Environmental Research, Korea

²⁾Faculty of Technology, Kanazawa University, Japan

³⁾Faculty of Pharmaceutical Sciences, Kanazawa University, Japan

(Received 26 September 1990)

Abstract

To check the possible transportation of gaseous air pollutants with the particles of yellow sand in the movement of air masses during the Yellow Sand Phenomenon, the concentrations of such air pollutants as TSP, SO₂, CO, NO_x, O₃ and N-CH₄, and wind speed were measured during the Yellow Sand Phenomenon (April 8~10, 1990) and they were compared with those during the normal times in Korea.

Meanwhile dust color of the samples during the Yellow Sand Phenomenon was the color of sand, that during the normal times was dark-brown. The concentrations of dusts; water soluble components, and metallic components of soil-originated elements during the Yellow Sand Phenomenon were higher than those during the normal times. While the metallic components in the dusts during the Yellow Sand Phenomenon were from soil-originated elements, those during the normal times were of both soil-originated and sea-originated elements.

The change of hourly concentrations of air pollutants showed bi-modal distribution during the two periods. Generally, the concentration levels of air pollutants during the Yellow Sand Period were higher than those during the normal times. Although similarity was observed in the primary sources, differences were observed in the dynamics of the secondary sources due to chemical reactions of the air pollutants during the two periods.

1. 서 론

3, 4, 5월의 期間中 偏西風에 의해 Asia 大陸으로부터 輸送되는 黃砂現象이 1990年 4月 8日~10日 사이에 全國的으로 觀測되었다. 이 現象은 봄에 Asia 大陸의 黃土地帶(Loess region)에서 寒冷前線의 강한 西風에 의해 우리나라 上空을 黃土粒子가 지나면서 서서히 下降하는 것으로, 黃砂現象이 심하면 하늘이 黃褐色이 되고 太陽의 빛이 顯著히 줄어들고 露出된 地表面이나 建物 等に 沈着 또는 環境大氣 Aerosol에 直接 影響을 미치고 있다. 그렇기 때문에 黃砂現象이 우리나라 大氣에 어로줄에 미치는 影響을 究明한다는 것은 越境하는 汚染物質의 立場에서도 重要的 意味가 있다고 生覺되어, 李敏熙 等(1986)은 1982년부터 黃砂現象時의 粉塵濃度を 定量的으로 測定하기 始作하였다. 그 後 李敏熙 等(1988)은 黃砂粒子의 特性을 究明하기 위하여 黃砂現象時의 粉塵成分을 分析하고 그 化學的 組成을 提示한 바 있다. 또한 李敏熙 等(1989)은 黃砂現象時 降水現象도 同時에 發生하여 이때의 雨水를 採水하여 그 成分을 分析하였다.

1990年 4月 8日~10日 사이에도 黃砂現象이 發生하여 黃砂粒子의 輸送과 더불어 가스狀汚染物質도 氣流에 便乘하여 移動될 可能性이 있을 것으로 思料되어 이 期間中の 汚染物質濃도와 非黃砂現象時의 汚染物質濃도를 相互比較檢討하였기 이에 그 結果를 報告하는 바이다.

2. 調査方法

2.1 Total Suspended Particulate : TSP

TSP 測定網이 設置되어 있는 서울(4個 地點), 釜山(7個 地點), 大邱(4個 地點), 光州(2個 地點), 大田(1個 地點) 等 5個 都市에서 1988年 4月과 1990年 4月 黃砂現象이 出現된 期間中에 High Volume Air Sampler(Sierra Inc. 44-2H)로 粉塵試料를 採取 그 濃도와 化學成分을 測定하였다.

化學成分은 SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- , F^- , NH_4^+ , Al,

Cu, Cd, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, Pb 및 Zn의 18個 成分을 各各 分析하였다.

分析方法은 NH_4^+ 은 Phernol法 陰 이온은 이온 크로마토그래프法(Dionex Model 2020i) 金屬成分은 原子吸光光度法에 의해 原子吸光光度計(IL 951 USA)로 各各 測定하였다.

2.2 가스狀物質

大氣汚染測定網이 設置되어 있는 서울市內 K地點에서 黃砂現象時(4月 8日, 06:00~10日, 06:00)와 非黃砂現象時(4月 15日, 06:00~17日, 06:00)에 自動連續測定器에 의해 TSP SO_2 , CO, NO_x ($NO+NO_2$) O_3 및 N- CH_4 外 風向 風速을 各各 測定하였다.

測定方法은 TSP는 β -ray法(86. FSH. USA), SO_2 는 紫外線螢光法(86 ML 8850 USA), CO는 非分散赤外線法(DSB 3003 USA), NO_x 는 化學發光法(86 ML 8840 USA), O_3 는 紫外線吸收法(86 ML 8810 USA), N- CH_4 는 Non- CH_4 炭化水素測定法(86 HNU USA) 風向과 風速은 各各 三杯型(86 한성 측기, 한국)으로 測定하였다.

2.3 統計分析

黃砂現象時와 非黃砂現象時 蒐集한 가스狀 物質 및 氣象資料에 對하여 相關分析(Correlation Analysis)과 主成分分析(Principal Component Analysis)을 實施하였다. 初期要因法(Initial Factor Method)에 依하여 主成分을 推論한 후, varimax rotation을 實施하여 主成分에 對한 解析을 多角的으로 試圖하였다.

統計處理은 IBM-PC用 SAS(stastical Analysis System) Institute Ins.(1985)를 利用하였다.

3. 結果 및 考察

3.1 黃砂現象時의 氣象特性

黃砂現象의 發生與否는 中央氣象臺(1990. 4)의 氣象月報와 目視的 觀測에서 確認하였고 黃砂發生 持續時間은 4月 8日 05:30에 始作하여 4月 10日 05:30분에 消滅되어 48時間 持續되었다.

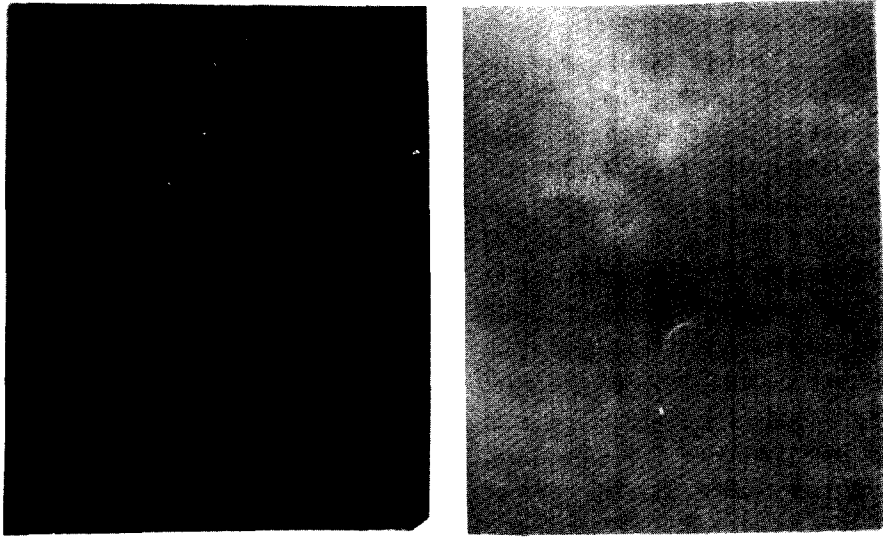


Fig. 1. Comparison of dust colour by high-volume air sampler (right: sample during the yellow sand phenomenon, left: sample during the normal times).

Table 1. Concentration of TSP by Hi-Volume air sampler. (Unit: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

year	1988			1990		
	Mean ¹⁾ Range	Mean ²⁾ Range	Sampling point	Mean ¹⁾ Range	Mean ²⁾ Range	Sampling point
Seoul	716(240~1104)	183(88~295)	5	420(254~723)	159(90~248)	4
Pusan	619(247~ 842)	191(112~335)	6	517(227~675)	178(112~248)	7
Daegu	532(149~ 870)	106(62~163)	4	522(345~670)	119(82~163)	4
Kwagju	449(404~ 495)	207(101~264)	2	243(119~366)	155(124~186)	2
Daejeon	795(360~1427)	138(110~170)	1			
Mean	620(149~1427)	165(62~335)	18	426(119~723)	153(82~248)	17

- 1) During Yellow Sand phenomenon
- 2) During the normal times

主風은 西風으로 27%이었고 風速은 0.7~7 m/sec로 平均風速은 3.5 m/sec이었다. 1988年 4月の 黃砂現象時の 氣象概況은 李敏熙(1990)가 既報한 바와 같다.

3.2 黃砂現象時の 粉塵 및 成分濃度

그림 1의 右側은 黃砂時(1990年 4月), 左側은 非黃砂時에 採取한 粉塵試料이다. 그림 1에서 보는 것처럼 外觀上으로도 粉塵의 特性을 알 수 있

다.

表 1은 黃砂現象時(1988年 4月과 1990年 4月)의 主要都市에서의 粉塵濃度を 나타낸 것이다. 表 1에서 보는 것처럼 全國의 平均으로 보아 黃砂時粉塵濃도가 非黃砂時에 비해 2.9~3.7倍 높게 測定되었다.

3.3 黃砂現象時の 汚染物質 動態

그림 2와 3에 黃砂現象時와 非黃砂時의 汚染物

質의 時間帶別濃度を 나타냈다. 그림 2에서 보는 것처럼 測定期間中 가장 높게 測定된 時間帶는 黃砂粉塵濃度에서는 4月 9日 11:00~12:00로 428 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었으며, 가스狀物質(SO_2 , CO , NO , NO_2 , N-CH_4)은 4月 9日 05:00~11:00 사이에 가장 높게 測定되었다. 또한 O_3 은 4月 9日 14:00~16:00로 0.03 ppm이었다. 또한 非黃砂現象時의 粉塵濃度は 二山型分布로 10:00~11:00와 16:00~17:00에 높게 나타나고 있으며 가스狀物質도 07:00~10:00와 16:00~19:00를 peak로 하여 二山型分布이었다. O_3 은 13:00~16:00를 peak로 하여 그 分布型은 一山型이었다. 그러나 汚染水準에서는 그림 2와 3에서 보는 것처럼 黃砂時가 非黃砂時에 비해 높은水準으로 測定되고 있어 黃砂現象時 黃砂粒子和 더불어 가스狀物質도 環境大氣에 影響을 미칠 可能性을 排除할 수는 없는 것 같다.

또한 1988年 黃砂時의 粉塵濃도가 1990年 黃砂時에 비해 1.5倍 높게 測定되었다.

表 2는 粉塵中에 含有된 金屬成分의 濃度比率을 나타낸 것이다.

金屬成分에 있어서는 土壤으로부터 由來되는 Al, Ca, Fe, Mg 등의 成分濃도가 黃砂現象時에 急上昇하여 非黃砂時에 비해 2.4~7.7倍 높게 測定되었다. 또한 粉塵中에 含有된 金屬成分의 比率을 보면 表 2에서 보는 것처럼 1988年 黃砂時는 Al, Fe, Ca이 各各 28.47%, 27.10%, 19.91%, 1990年에는 Ca, Al, Fe가 各各 37.76%, 15.25%, 13.58%로 Ca 元素가 特異的으로 많이 含有되고 있었다. 이와 같은 現象은 黃砂의 發源地가 1988年과 1990年에 서로 다르다는 것을 나타내는 것으로 보여진다.

非黃砂時도 表 2에서 보는 것처럼 1988년에는 Na, Fe, Al, K, Mg, Ca 등 成分을 多量含有하고 있으며 1990年 Al, Ca, Fe, K 등의 成分을 多量含有하고 있어 粉塵에 寄與되는 成分은 人爲發生源보다 自然發生源이 더 큰 影響을 미치는 것으로 보여진다.

表 3에 水溶性成分의 平均濃度を 나타내었다. 表 3에서 보는 것처럼 1988年 黃砂現象時 NO_3^- , NH_4^+ 이온 成分은 非黃砂時에 비해 높게 測定되었고 1990년에는 F^- 이온 成分을 除外한 모든 이온

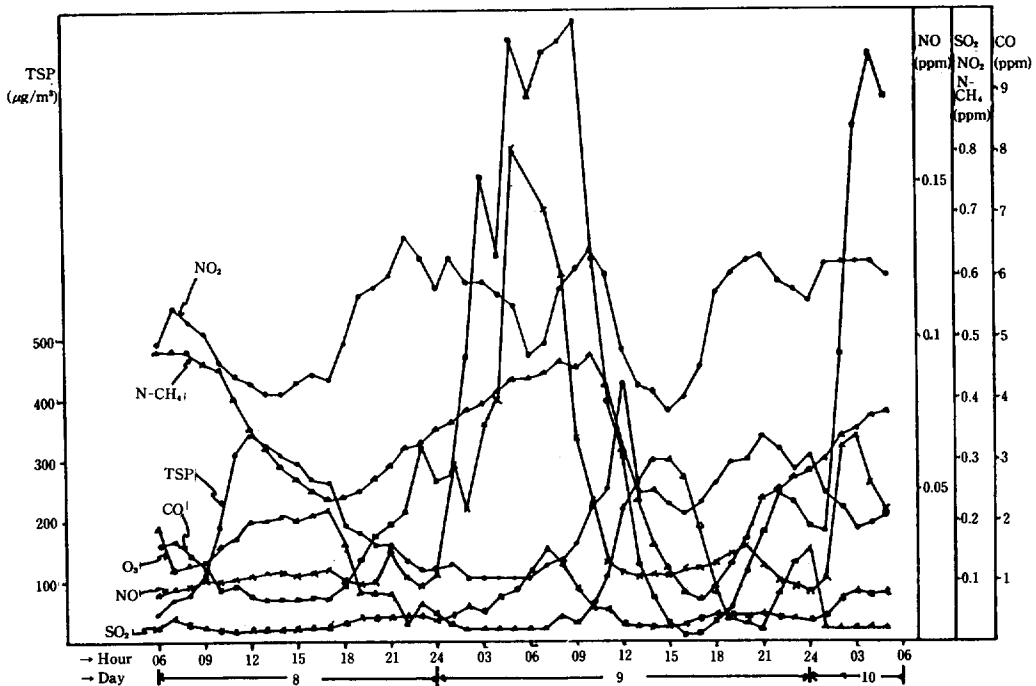


Fig. 2. Hourly concentration of pollutants during the Yellow Sand phenomenon.

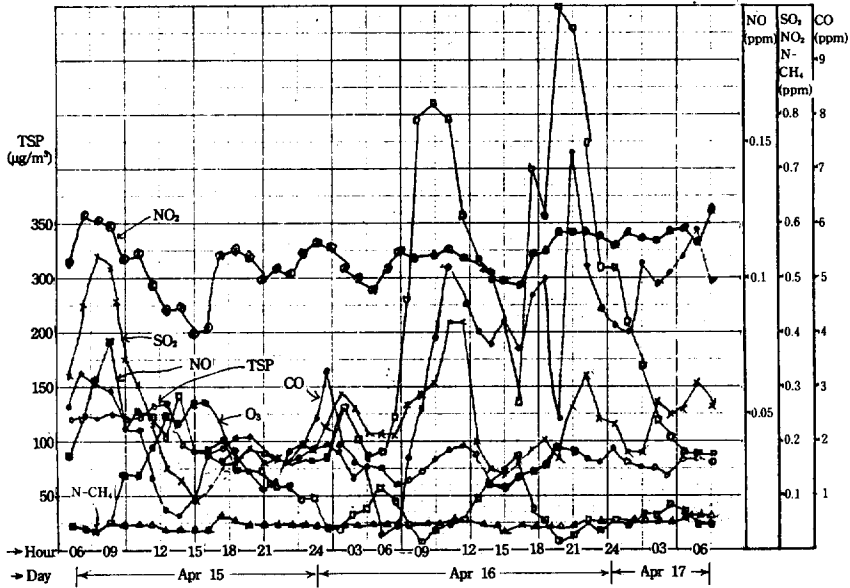


Fig. 3. Hourly concentration of pollutants during the normal times.

Table 2. Average concentration ratio (%) of metals in TSP in Seoul area.

Year		Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
1988	A	28.47	19.91	0.02	0.39	0.72	27.10	3.11	7.19	0.69	8.18	0.15	2.31	2.28
	B	10.30	7.20	0.03	0.63	1.59	17.67	8.61	8.21	0.75	29.06	0.25	3.94	4.00
1990	A	15.25	37.76	0.004	0.29	0.73	13.58	6.54	8.71	2.32	4.36	0.51	2.40	7.26
	B	25.22	24.56	0.001	0.44	1.32	16.34	6.45	2.74	1.43	4.39	0.66	4.06	12.39

A : During the Yellow Sand phenomenon

B : During the normal times

成分이 黃砂現象時가 높게 測定되었다.

이와같이 黃砂現象時 粉塵中 成分濃度에 差가 있는 것은 黃砂의 發源地 및 移動經路가 서로 다른 것에 起因하는 것으로 보여지며 또한 黃砂現象時의 粉塵濃度 및 土壤起源元素들이 特異의 高濃度로 나타나는 것은 黃砂의 發源地인 Asia 大陸에 隣接되어 있다는 地理的 要因으로 다른 나라에 비해 우리나라가 그 影響이 큰 것으로 보여진다.

表 4와 5는 黃砂現象時와 非黃砂現象時의 汚染物質 濃度間의 相關關係를 나타낸 것이다. 表 4와 5에서 보는 것처럼 5% 有意水準에서 有意한 相關

Table 3. Average concentration of anion and NH₄⁺ in TSP in Seoul area.

Year		SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	U ⁻	F ⁻	NH ₄ ⁺
1988	A	16.63	5.84	3.77	0.39	2.29
	B	20.15	5.68	4.58	0.50	1.74
1990	A	28.03	8.50	5.32	0.38	5.56
	B	21.33	5.95	4.06	0.43	5.12

A : During the Yellow Sand phenomenon

B : During the normal times

Table 4. Correlation matrix during the Yellow Sand phenomenon.

	TSP	SO ₂	CO	NO	NO ₂	O ₃	N-CH ₄	WS
TSP								
SO ₂	-0.32*							
CO	-0.40**	0.89**						
NO	-0.20	0.92**	0.79**					
NO ₂	-0.21	0.35*	0.45**	0.16				
O ₃	0.31*	-0.64**	-0.72**	-0.49**	0.86**			
N-CH ₄	-0.52**	0.46**	0.57**	0.44**	0.34*	0.52**		
WS	0.20	-0.60**	-0.71**	-0.47**	-0.73**	0.75**	-0.38**	

* : Significant at 5% level

** : Significant at 1% level

Table 5. Correlation matrix during the normal times.

	TSP	SO ₂	CO	NO	NO ₂	O ₃	N-CH ₄	WS
TSP								
SO ₂	-0.22							
CO	0.23	0.91**						
NO	-0.22	0.89**	0.86**					
NO ₂	-0.05	0.001	0.04	0.07				
O ₃	0.36*	-0.67**	-0.68**	-0.67**	-0.51**			
N-CH ₄	-0.18	0.38**	0.42**	0.38**	0.70**	-0.59**		
WS	0.32*	-0.54**	-0.58**	-0.62**	-0.17**	0.67**	-0.30**	

* : Significant at 5% level

** : Significant at 1% level

Table 6. Principal component analysis during Yellow Sand phenomenon.

Variable	Mean	S.D.	Eigenvector			Factor loading matrix			Rotated factor matrix		
			Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₁	Z ₂	Z ₃	F ₁	F ₂	F ₃
TSP	209.61	86.55	-0.19	-0.03	0.74	-0.42	-0.04	0.59	-0.11	0.10	0.71
SO ₂	0.048	0.028	0.41	0.35	0.19	0.88	0.38	0.15	0.89	-0.30	-0.23
CO	3.26	3.20	0.43	0.18	0.01	0.92	0.19	0.01	0.75	-0.42	-0.37
NO	0.04	0.036	0.36	0.52	0.24	0.77	0.55	0.19	0.94	-0.11	-0.16
NO ₂	0.05	0.008	0.31	-0.63	0.10	0.66	-0.67	0.08	0.04	0.82	0.29
O ₃	0.01	0.009	-0.41	0.33	0.05	-0.87	0.36	-0.04	-0.37	0.82	0.29
N-CH ₄	0.32	0.112	0.29	0.04	-0.54	0.61	0.04	-0.44	0.30	-0.25	-0.65
WS	34.88	20.12	-0.37	0.26	-0.24	-0.78	0.28	-0.04	0.41	0.74	0.12
Eigenvalue			4.57	1.23	0.64						
Proportion (%)			72.59	17.93	10.22						

Table 7. Principal component analysis during the normal times.

Variable	Mean	S.D.	Eigenvector			Factor loading matrix			Rotated factor matrix		
			Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₁	Z ₂	Z ₃	F ₁	F ₂	F ₃
TSP	92.63	21.72	-0.16	-0.03	0.64	-0.33	-0.04	0.42	-0.10	-0.06	-0.52
SO ₂	0.04	0.03	0.44	-0.25	0.29	0.89	-0.30	0.19	0.93	0.10	-0.19
CO	5.65	3.70	0.04	-0.22	0.23	-0.90	-0.25	0.15	0.91	0.14	-0.23
NO	0.05	0.33	0.44	-0.28	0.12	0.88	-0.33	0.08	0.90	0.04	-0.29
NO ₂	0.05	0.007	0.14	0.71	0.09	0.28	0.83	0.06	-0.10	0.86	-0.10
O ₃	0.01	0.01	-0.41	-0.22	0.20	-0.84	-0.26	0.13	-0.54	-0.51	0.48
N-CH ₄	0.48	0.14	0.29	0.50	0.29	0.59	0.58	0.19	0.31	0.78	-0.11
WS	1.98	1.47	-0.35	0.02	0.56	-0.71	0.03	0.36	-0.46	-0.16	0.63
Eigenvalue			4.11	1.35	0.43						
Proportion (%)			70.79	23.30	7.37						

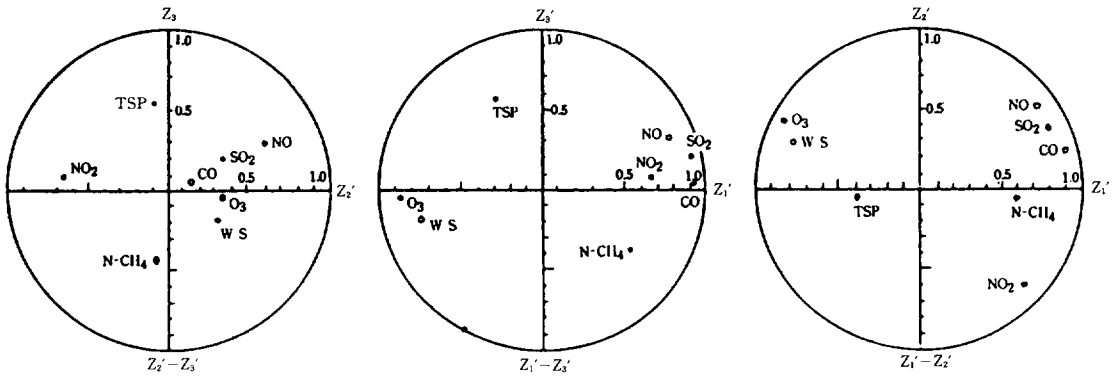


Fig. 4. Factor loading corresponds to Z₁~Z₃ during the Yellow Sand phenomenon.

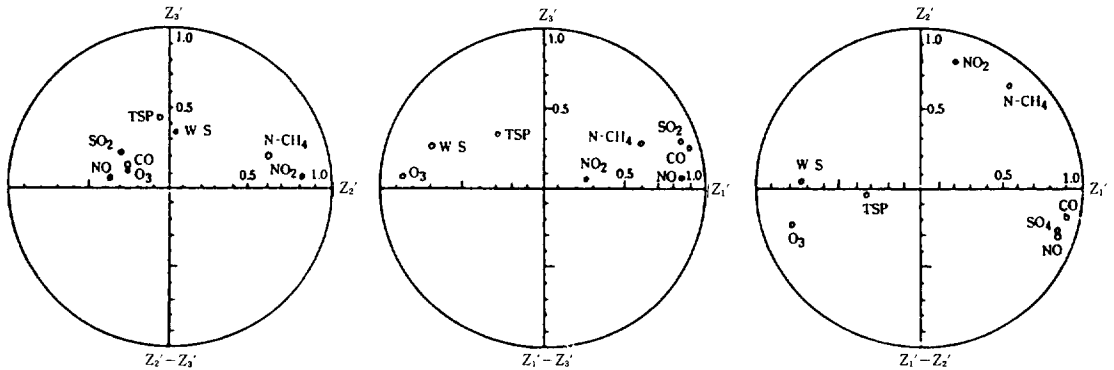


Fig. 5. Factor loading corresponds to Z₁~Z₃ during the normal times.

을 나타내는 성분으로서 황砂時에 TSP는 SO₂, CO, N-CH₄와 負의 相關, O₃와는 正의 相關을 나타냈고, 그 外 汚染物質 사이에도 높은 相關성을 나타냈다. 非黃砂時의 TSP는 O₃, WS(wind speed)와 正의 相關을 나타냈고, 그 外 汚染物質 사이에도 높은 相關성을 나타냈다.

表 4와 5에 의해 황砂現象時와 非黃砂現象時의 汚染物質의 特性을 明確히 하기 위하여 主成分分析(Initial Factor Method)을 適用한 結果를 表 6과 7에 나타냈다. 表 6과 7로부터 表의 左欄의 固有值 以上の 主成分을 抽出하면 황砂時나 非黃砂時 多같이 第2 主成分까지의 累積寄與率은 황砂時는 90.52%, 非黃砂時는 94.09%의 情報가 集合되어 있음을 알 수 있다.

또한 主成分分析에서 얻어진 因子負荷量을 나타낸 것을 表 6과 7의 中央欄에 表示하였다. 表 6과 7에서 보는 것처럼 第1 主成分(Z₁)의 因子負荷는 全體的으로 크고 황砂時나 非黃砂時 多같이 TSP, O₃, WS를 除外한 係數는 正이다. 이것은 大氣中の 汚染物質에 對한 汚染源을 綜合的으로 나타내는 因子로 볼 수 있다.

第2 主成分(Z₂)에서는 황砂時에 係數가 큰 것은 NO와 NO₂로서 서로 反對符號이고 非黃砂時에는 NO₂와 N-CH₄로서 正의 符號로 多같이 大氣中에서의 汚染物質의 化學反應을 나타내는 因子로 볼 수 있고, 第3 主成分(Z₃)는 粉塵과 二次生成粒子和 關聯된 因子로 볼 수 있다. 이러한 變量들이 各 主成分에 對하여 어떠한 形態로 寄與하고 있는가를 알기 위하여 因子負荷量을 plot한 것을 그림 4와 5에 나타내었다. Z₁-Z₂, Z₁-Z₃, Z₂-Z₃에 對하여 황砂時의 各 汚染物質은 SO₂, CO, NO, NO₂와 O₃, WS 및 TSP, N-CH₄의 3集團으로 分類가 可能하였다. 또한 非黃砂時는 SO₂, CO, NO, O₃와 N-CH₄, NO₂ 및 TSP, WS의 3集團으로 分類되었다. 황砂時나 非黃砂時나 多같이 一次 汚染物質의 發生源은 같으나 大氣化學反應에 의한 二次生成의 汚染物質의 樣態에는 差가 있다.

因子負荷量에 對한 因子轉의 回轉(varimax rotation)을 試圖한 것을 表 6과 7의 右欄에 나타내었다. 表 6과 7에서 볼 수 있는 것처럼 황砂時 第1 因子(F₁)는 NO, SO₂, CO, 第2 因子(F₂)는 NO₂, O₃, WS, 第3 因子(F₃)는 TSP, N-CH₄, 非黃砂時 第1 因子(F₁)는 SO₂, CO, NO, O₃, 第2 因

子(F₂)는 NO₂, N-CH₄, 第3 因子(F₃)는 WS, TSP로 各 各 細分類가 可能하여 황砂時와 非黃砂時의 汚染物質의 動態가 明確히 區分이 되어 있음을 나타내고 있다.

4. 결 론

1990年 4月 8日~10日 사이에 황砂現象이 發生하여 황砂粒子의 輸送과 더불어 가스狀物質도 氣流에 便乘하여 移動될 可能性이 있을 것으로 思料되어, 이 期間中の 大氣中の 汚染物質(TSP, SO₂, CO, NO_x, O₃, N-CH₄) 濃度와 風速을 測定하여 非黃砂時 汚染物質濃도와를 比較檢討하여 다음과 같은 것을 알게 되었다.

1. 황砂現象時 粉塵試料의 色彩는 모래色인데 反하여 非黃砂時 粉塵試料의 色彩는 黑褐色이었다.

2. 황砂現象時의 粉塵濃度, 水溶性 成分濃度, 土壤起原元素의 金屬成分濃度는 非黃砂時에 比해 높게 測定되었다.

3. 粉塵中에 含有된 金屬成分比率은 황砂時는 土壤起原元素들이 많이 함유된데 反하여 非黃砂時는 土壤起原元素와 海洋起原元素들이 많이 含有되어 있었다.

4. 汚染物質 1日 濃度分布型은 황砂時나 非黃砂時 多같이 二山型分布이었다.

5. 汚染物質濃度水準에서는 황砂時가 非黃砂時에 比해 높게 測定되었다.

6. 황砂時와 非黃砂時 多같이 一次 汚染物質의 發生源은 비슷하나 大氣化學反應에 의한 二次生成의 汚染物質의 動態에는 差가 있었다.

參 考 文 獻

- 李敏熙, 韓義正, 元良洙(1986) 황砂現象이 우리나라에 미치는 影響. 韓國大氣保全學會誌, 2(3), 34 - 44.
- 李敏熙, 韓義正, 辛燦基, 韓振錫(1988) 황砂現象時 粉塵의 粒度分布와 化學組成에 關한 研究. 韓國大氣保全學會誌, 4(2), 57 - 66.
- 李敏熙, 韓振錫, 韓義正, 辛燦基(1989) 황砂現象時 降水의 化學的成分에 關한 研究. 韓國大氣保全學會誌, 5(2), 1 - 11.

Central Meteorolgical Office: Republic of Korea
Monthly Weather Report (April 1990) 9 pp.

Lee, Min Hee (1990) Environmental Impacts due to
the Deposition of Air Pollutants in Korea.

The 2nd Japan — Korea Symosium on Envi-
ronmental Science and Technology Pro-

ceeding. Environment Agency Government
of Japan, 32 — 38.

SAS Institute Inc. (1985) SAS Language Guide for
Personal Computers. 429 pp.

SAS Institute Inc. (1985) SAS/STAT Guide for
Personal Computers. 378 pp.